

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Přítomnostní detektor použitím maticových senzorů

Presence detector based on matrix sensor

Zadání bakalářské práce

Student:

Jan Svoboda

Studijní program:

B0714A150001 Řídicí a informační systémy

Téma:

Přítomnostní detektor s maticovým senzorem

Presence Detector based on Matrix Sensor

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Nastudování problematiky měření teploty maticovými senzory.
2. Nastudování problematiky detekce přítomnosti osob v budovách.
3. Návrh přítomnostní detektor s využitím maticového snímače.
4. Realizace navrženého řešení.
5. Experimentální ověření navrženého řešení.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VAVŘIČKA, Roman. *Bezkontaktní způsoby měření teploty*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2013. Sešit projektanta - pracovní podklady, 11. ISBN 978-80-02-02515-3.
- [2] VOLLMER, Michael a Klaus-Peter MÖLLMANN. *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. Weinheim: Wiley-VCH, c2010. ISBN 978-3-527-40717-0.
- [3] MERZ, Hermann, Hansemannm THOMAS a Christof HÜBNER. *Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet*. Přeložil Václav BARTOŠ. Praha: Grada Publishing, 2009. Stavitel. Nízkoenergetické domy. ISBN 978-80-247-2367-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 13. května 2020

Jan Svoboda

Rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří mě podpořili při vypracovávání této práce. Zejména chci poděkovat vedoucímu mé práce panu inženýru Davidu Valovi za odbornou podporu a přátelský přístup.

Abstrakt

Obsahem této práce je návrh a otestování systému pro detekci přítomnosti osob, postaveném na maticovém detektoru. Popisuje výběr jednotlivých komponentů, komunikační protokoly použitých rozhraní a tvorbu softwaru pro získání obrazových dat, komunikaci s kamerou, zpracování obrazových dat a integraci v rámci systému chytrých budov. Výsledkem práce je funkční systém obsahující jednodeskový počítač Raspberry Pi, termokameru Flir Lepton 2.0 a komunikační modul KNX BAOS. Systém je schopen detekovat přítomnost osoby v místnosti na základě její tepelné stopy.

Klíčová slova: Flir Lepton, termokamera, infračervená kamera, maticový senzor, detekce přítomnosti KNX, chytré budovy, BAOS

Abstract

The content of this work is the design and testing of a system for human presence detection, built on a matrix based detector. It describes the selection of individual components, communication protocols of used interfaces and the creation of software for image data acquisition, communication with the camera, image data processing and integration within the smart building system. The result is a functional system containing a single-board computer Raspberry Pi, a thermal camera Flir Lepton 2.0 and a communication module KNX BAOS. The system is able to detect the presence of a person in the room based on their heat trace.

Keywords: Flir Lepton, thermal camera, infrared camera, matrix sensor, presence detection, KNX, smart buildings, BAOS

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
1 Úvod	11
2 Elektromagnetické záření	12
2.1 Wienův posunovací zákon	13
2.2 Stefan-Boltzmannův zákon	13
2.3 Plankův vyzařovací zákon	13
2.4 Bezkontaktní měření teploty	14
3 Termokamery	17
3.1 Rozdělení druhů detektoru	18
4 Detekce osob a automatizační systémy	19
4.1 Druhy senzorů	19
4.2 Systémy chytrých budov KNX	21
4.3 Přenosová média	22
4.4 Komponenty	22
4.5 Komunikace	22
5 Návrh systému detekce osob	23
5.1 Výběr senzoru	23
5.2 Výběr řídicího systému	26
5.3 Nadřazený systém KNX	27
6 Realizace návrhu	29
6.1 Implementace ovládacího a komunikačního rozhraní kamery	29
6.2 Přenos obrazu	31
6.3 Popis programu	33
6.4 Implementace komunikace s KNX modulem	36
6.5 Nastavení modulu KNX BAOS kBerry v prostředí ETS5	38
7 Experimentální ověření	40
8 Závěr	43

Literatura	44
Přílohy	46
A Zdrojové kódy	47
B Spuštění programů	48

Seznam použitých zkratek a symbolů

I ² C	– Inter-Integrated Circuit
SPI	– Serial Peripheral Interface
VoSPI	– Video over Serial Peripheral Interface
FET	– Field-Effect Transistor
PIR	– Passive Infrared Sensor
KNX	– open standard protocol
BAOS	– Bus Access and Object Server
UART	– Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
GPIO	– General-Purpose Input/Output
RF	– Radio Frequency
IP	– Internet Protocol
CRC	– Cyclic Redundancy Check
MOSI	– Master Out Slave In
MISO	– Master in Slave Out
CLK	– Clock
CS	– Chip Select
SDA	– Serial Data line
SCL	– Serial Clock line

Seznam obrázků

1	Elektromagnetické spektrum [2]	12
2	Závislost spektrální hustoty na vlnové délce [5]	14
3	Jednokanálový thermophile senzor [7]	15
4	Bolometr [9]	16
5	Schématické znázornění stavby mikrobolometrického snímače [11]	16
6	Mikroskopická fotografie maticového uspořádání mikrobolometrů [12]	16
7	Termogram postavy [13]	17
8	Mikrovlnný senzor pohybu [16]	20
9	Pasivní infračervený senzor pohybu [19]	20
10	Detekce osob kamerovým systémem [22]	21
11	Maticový senzor teploty Panasonic Grid-Eye [26]	23
12	Maticový senzor teploty MLX90640 [28]	24
13	Maticový snímač teploty Heimann [30]	25
14	Maticový snímač teploty Flir Lepton 2.0	25
15	Jednodeskový počítač Orange Pi 4 [32]	26
16	Jednodeskový počítač BeagleBone Black [33]	27
17	Jednodeskový počítač Raspberry Pi 4 [34]	27
18	KNX BAOS kBerry	28
19	GPIO piny Raspberry Pi [35]	29
20	Schématické propojení jednotlivých částí	30
21	Algoritmus vytvoření binární masky	34
22	Reprezentace surových dat	35
23	Data po filtraci	35
24	Binární maska obrazu	35
25	Detekovaná postava	35
26	Funkce celkového programu	36
27	Parametry modulu kBerry	38
28	Parametry modulu kBerry	38
29	Experimentální sestava	40
30	Případ stojící osoby - maska	40
31	Případ stojící osoby - originál	40
32	Případ sedící osoby - maska	41
33	Případ sedící osoby - originál	41
34	Případ bez přítomnosti osoby - maska	41
35	Případ bez přítomnosti osoby - originál	41
36	Případ přítomnosti více osob - maska	42
37	Případ přítomnosti více osob - originál	42

Seznam tabulek

1	Tvar zprávy pro změnu bitu objektu na KNX sběrnici [43]	37
2	Tvar zprávy pro sériovou linku [43]	37

1 Úvod

Tato práce se zabývá možnostmi návrhu systému pro detekci přítomnosti osob využitím maticových snímačů teploty. Dále zpracovává možnosti připojení těchto zařízení do systému domovní komunikace realizované na základě KNX standardu.

V první části práce jsou popsány nezbytné přírodní zákonitosti související s bezkontaktním měřením teploty a principy fungování senzorů.

Druhá část se zabývá dostupnými technologiemi senzorů v oblasti detekce osob a jejími principy a příklady využití.

Třetí část popisuje návrh samotný. Jsou zde zhodnoceny všechny prostředky a jejich výběr pro tuto konkrétní práci.

Čtvrtá část obsahuje dílčí kroky realizace a popis jednotlivých částí programu.

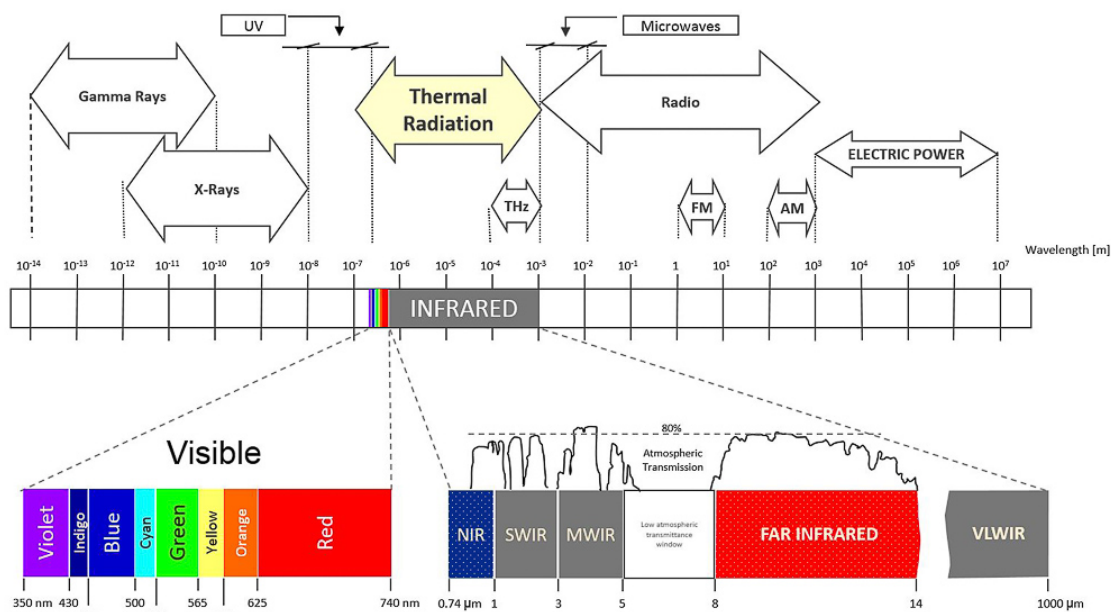
Poslední část je věnována ověření funkčnosti navrženého systému a zhodnocení finálních výsledků.

2 Elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření je druh energie, který se skládá z elektrických a magnetických vln a šíří se formou fotonů. Energie elektromagnetického záření je kvantifikována pomocí jednotky elektronvolt (eV). Jeden elektronvolt odpovídá kinetické energii, kterou získá elektron při průchodu potenciálním rozdílem 1 V ve vakuu. [1]

Při průchodu elektromagnetického záření biologickým materiálem dochází k předávání energie a to dvěma způsoby, excitací a ionizací. Excitace popisuje děj, při kterém dojde k přechodu elektronu na vyšší energetickou vrstvu. Při ionizaci je dodaná energie tak velká, že dojde k odloučení elektronu od atomu.

Elektromagnetické spektrum obsahuje široký rozsah záření různých zdrojů. I přestože se jednotlivé druhy záření liší ve vlastnostech, vytváření a způsobech pozorování, sdílejí mezi sebou základní vlastnosti. Všechny druhy lze popsat v rámci elektrických a magnetických polí, rychlost šíření ve vakuu je identická s rychlostí světla a matematický popis se liší pouze ve vlnové délce a frekvenci. Názvy popisující jednotlivé oblasti elektromagnetického spektra byly vytvořeny v závislosti na zdrojích a způsobech pozorování.



Obrázek 1: Elektromagnetické spektrum [2]

Spektrum elektromagnetického záření lze rozdělit na několik částí podle rozsahů vlnových délek. Pro tuto práci je ovšem nejdůležitější infračervená část spektra rozkládající se mezi vlnovými délkami 700 nm až 1 mm. Tyto vlnové délky jsou pro lidské oko neviditelné, ale můžeme je počítovat jako zdroj tepla. Všechny objekty s teplotou vyšší než 0 kelvinů jsou zdrojem tohoto záření.

Pro pochopení vlastností vyzařovaného záření je nutno uvést určitá pravidla a pojmy, které usnadní popis a umožní určit parametry záření. V první řadě se jedná o pojem absolutně černé těleso. Absolutně černé těleso je objekt, jehož povrch pohlcuje veškeré dopadající záření, tudíž dochází k nulovému odrazu. [3]

S tímto pojmem je svázaný i pojem emisivita. Množství vyzařené energie z povrchu jakéhokoli tělesa přímo závisí na jeho emisivitě. Emisivita se pohybuje v intervalu 0 až 1, kde 1 je právě absolutně černé těleso a 0 je těleso, které nepohlcuje ani neprodukuje žádnou energii zářením. Tyto hodnoty jsou ryze teoretické a v každodenním životě se setkáváme s nejnižší emisivitou 0,05 u leštěného hliníku a nejvyšší 0,98 u lidské kůže.

Záření jako takové lze pro naši aplikaci popsat několika základními zákony. Jedná se o Wienův posunovací zákon, Stefan-Boltzmannův zákon a Planckův vyzařovací zákon.

2.1 Wienův posunovací zákon

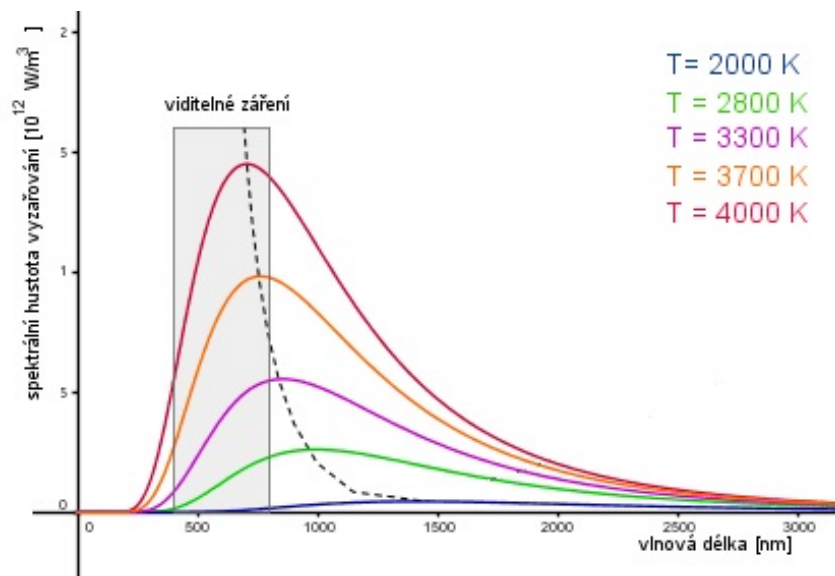
Tento zákon popisuje, že při změně povrchové teploty objektu nedochází jen ke změně intenzity vyzařovaného záření, ale i ke změně spektrálního rozložení záření. Při zvyšování teploty povrchu je vlnová délka, na které je vyzařováno největší množství energie, posouvána ke kratším vlnovým délkám. Tento zákon můžeme pozorovat například při zahřívání ocelového objektu z pokojové teploty. Na počátku těleso nejeví žádné známky záření. Zvyšujeme-li jeho teplotu, dojdeme brzo do bodu, kdy začne zářit tmavě rudou barvou (přibližně 600°C). Při pokračování zahřívání se bude vlnová délka zkracovat až do okamžiku, kdy těleso bude vyzařovat jasné bílé světlo. Podle obrázku 1 můžeme vidět, že se pohybujeme na spektru zprava doleva, tudíž z větších vlnových délek na menší.

2.2 Stefan-Boltzmannův zákon

Podle tohoto zákona všechny objekty s teplotou vyšší než 0 kelvinů vyzařují energii ve formě tepelného záření. Pokud známe povrch takového tělesa a jeho teplotu, jsme schopni spočítat vyzařený výkon ve watech.

2.3 Planckův vyzařovací zákon

Zkombinujeme-li dva předchozí zákony, jsme schopni určit vyzařenou energii a vlnovou délku, na které dochází k vyzařování její největší části. Planckův vyzařovací zákon stanovuje, kolik energie je vyzařováno jednotlivými vlnovými délkami. Pro spektrální závislosti absolutně černého tělesa platí, že je funkcí pouze povrchové teploty a může být zobrazena v následujícím grafu. [4]



Obrázek 2: Závislost spektrální hustoty na vlnové délce [5]

2.4 Bezkontaktní měření teploty

Měření teploty se stalo kritickým ve většině profesí. V technických profesích je vyžadováno přesné měření teplot, např. u technologických procesů výroby. V oblasti údržby pak díky měření teplot na strojích můžeme předcházet poruchám. Přesné měření teploty je zapotřebí i v ostatních odvětvích, od lékařství až po potravinový průmysl. Způsoby měření můžeme rozdělit do dvou základních skupin a to na základě pozice měřícího tělesa. U kontaktních měření je měřící těleso v přímém či nepřímém kontaktu s měřeným objektem. Měřící detektor u bezkontaktního měření je umístěn v definované vzdálenosti od měřeného objektu. Tento typ měření se využívá v prostředích, kde by kontaktní teploměry nebyly schopny přežít, např. vysoké teploty nebo nehostinná prostředí. Bezkontaktní měření pomocí maticových senzorů je pak využíváno v aplikacích, při kterých je potřeba měřit větší počet bodů, nebo plochu.

Potřebujeme-li zařízení pro měření vysokých teplot, nebo teplot těles, u kterých není možná montáž klasického kontaktního teploměru, sáhneme právě po technologii bezkontaktního měření teplot. Existují dva základní druhy pyrometrů, optické a elektronické.

Podle principu detekce záření můžeme rozdělit detektory na tepelné a kvantové. Tepelné detektory k měření intenzity záření využívají změny elektrických vlastností při změně teploty. Kvantové detektory využívají principů změny elektrických vlastností při pohlcení fotonů.

2.4.1 Optické pyrometry

Tato zařízení umožňují měření vlnové délky záření vyzařovaného žhavým tělesem, na základě kterých pak můžeme určit teplotu tělesa. Optické pyrometry, jinak také manuální, byly používány k měření teplot extrémně teplých těles bez možnosti jednoduchého přístupu, např. uvnitř

vysokých či keramických pecí. Umožňovaly měření z bezpečné vzdálenosti porovnáváním záření měřeného objektu se zářením žhaveného vlákna. Přes kukátko opatřené červeným filtrem pro ochranu zraku pozorujeme měřené těleso. Uvnitř zařízení vidíme v jedné části měřené těleso a v druhé žhavené vlákno. Pomocí přístrojového knoflíku na straně pyrometru lze upravit velikost proudu protékajícího žhaveným vláknem. To umožňuje regulovat teplotu, a tudíž i barvu žhaveného vlákna. Když je barva měřeného objektu a žhaveného vlákna stejná, můžeme odečíst teplotu z přístroje. Teplota je určena z velikosti proudu vláknem. [6]

2.4.2 Infračervené termočlánky

Tento druh senzorů využívá poznatků kontaktního měření teploty a to konkrétně principu termočlánků. Detekované záření způsobuje ohřev materiálů termočlánku, čímž dochází ke vzniku termoelektrického napětí, na základě kterého je určena teplota snímaného tělesa.



Obrázek 3: Jednakanálový thermophile senzor [7]

Z pouzdra na obrázku 3 lze vidět, jak jsou tyto senzory konstruovány. Záření proniká do pouzdra okénkem, které slouží zároveň jako filtr a vymezuje rozsah detekovaných vlnových délek a zároveň i velikost detekované oblasti. Záření je soustředěno na skupinu měřících termočlánků. Výstupem těchto senzorů je ve většině případů elektrické napětí, které je úměrné intenzitě dopadajícího záření, resp. teplotě měřeného objektu. Stejně jako u klasického měření termočlánky je potřeba provést kompenzaci vlivů okolních teplot. Proto jsou pouzdra vybavena referenčními termistory pro získání potřebných teplot pouzdra pro kompenzaci. Kompenzace může být následně prováděna již na společném křemíkovém substrátu termočlánků, nebo je potřeba provést kompenzaci mimo pouzdro, např. analogově či číslicově. [8]

Technologicky jsou senzory infračervených termočlánků konstruovány jako sériově řazené termočlánky realizované tenkými kovovými pásy či technologií tenkých vrstev na křemíkové podložce.

2.4.3 Bolometry

Jedná se o další zástupce pyrometrických senzorů. Od infračervených termočlánků se liší principem vyhodnocování intenzity záření. V těchto senzorech se využívá změny elektrické vodivosti

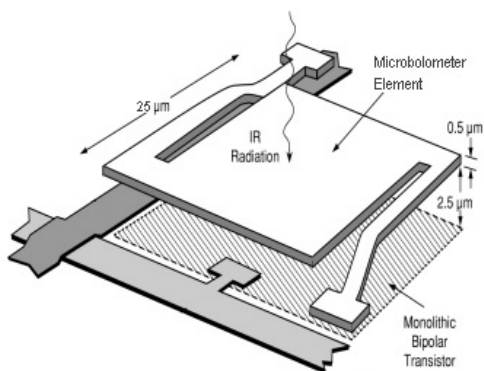
materiálu při změně jeho teploty. Technologicky jsou vyráběny ze stejných materiálů jako odporové senzory teploty, nejčastěji technologií tenkých vrstev.



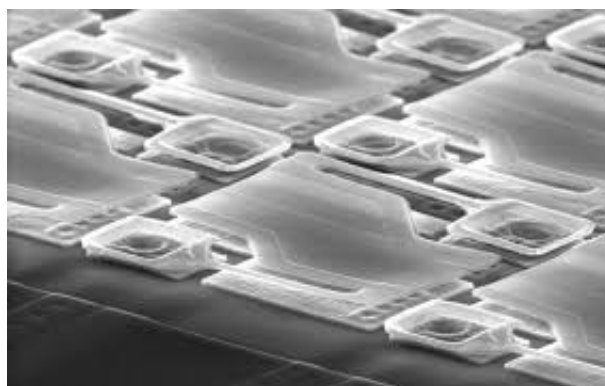
Obrázek 4: Bolometr [9]

Snímací část bolometru je načerněna a právě touto částí dochází k absorpci dopadajícího záření a zahřívání měřící oblasti.

Častěji se ovšem bolometry objevují jako integrované obvody obsahující matice desítek až tisíců jednotlivých mikrobolometrů. Právě tyto obvody jsou obvyklými detektory používanými pro potřeby termokamer a jsou nejčastějšími zástupci termokamer s tepelnými detektory. Druhy termokamer jsou podrobněji popsány v kapitole 3.1. [10]



Obrázek 5: Schématické znázornění stavby mikrobolometrického snímače [11]



Obrázek 6: Mikroskopická fotografie maticového uspořádání mikrobolometrů [12]

2.4.4 Pyroelektrické senzory

Tento druh senzorů využívá ke své funkci pyroelektrický jev. Princip popisuje vznik elektrického napětí na povrchu krystalu při změně jeho teploty. Pyroelektrické senzory se v široké míře používají u pasivních infračervených detektorů pohybu popsanych v kapitole 4.1.2. [10]

3 Termokamery

Funkce termokamer je velmi podobná kamerám pro viditelnou část spektra. Záření soustředěné optickým systémem dopadá na povrch detektoru, kde je na základě jeho intenzity vytvořen odpovídající elektrický signál. Hlavní rozdíl mezi kamerami pro viditelnou část spektra a termokamerami je v použitých detektorech.

Detektory jsou hlavními komponenty konstrukce kamer. Zajišťují převod optického signálu na signál elektrický. Výstupem detektoru je elektrický signál úměrný výkonu optického signálu. Detektory hrají klíčovou roli v určování parametrů termokamer. Určují spektrální odezvu, citlivost a rozlišení.

Spektrální odezva závisí na charakteru materiálu použitého pro konstrukci detektoru a jeho operační teplotě. U materiálů je vyžadována přítomnost silných (kovalentních) vazeb schopných přijmout energii fotonů.

Spektrální citlivost je rovněž závislá na charakteru materiálu (např. šířka zakázaného pásma), ale i na vlnové délce záření, velikosti detektoru a šířce pásma a stínění.

Detektory jsou v podstatě maticově uspořádané bezkontaktní teploměry, kde druh použitých teploměrů určuje kvalitu obrazu, teplotní rozsah a komplikovanost termokamery.



Obrázek 7: Termogram postavy [13]

3.1 Rozdělení druhů detektoru

Obecně jsou rozlišovány dvě třídy detektorů: fotonové (kvantové) a teplotní.

3.1.1 Fotonové detektory

V tomto provedení detektory detekují energii absorbovanou z fotonů do uvolněných elektronů. Šířka zakázaného pásma materiálu určuje energii nezbytnou pro přechod elektronu z valenční vrstvy do vodivého stavu. Přechod nosičů elektrického náboje pak mění elektrické vlastnosti materiálu. Tyto odchylky vlastností jsou měřeny a na základě získaných hodnot je zpětně určena vstupní energie optického signálu. Fotonové detektory mohou být dále rozděleny na fotovodivé, fotovoltaiické a fotoemisivní. Pro tento typ detektorů je obvyklé kryogenní chlazení, které snižuje tzv. "dark-current" a jím způsobený šum.

- Fotovodivé detektory jsou vyrobeny z polovodičového materiálu, který po dopadu fotonů uvolňuje volné nosiče náboje. Přechod nosičů mezi vrstvami způsobuje změnu měřené vodivosti materiálu.
- Fotovoltaiické detektory absorbují energii fotonů na P-N přechodu polovodičových materiálů. Uvolněné páry elektron-díra generují rozdíl napětí na P-N přechodu. Změna velikosti tohoto napětí je úměrná energii optického signálu na vstupu detektoru. Stejně jako fotovodivé detektory mají fotovoltaiické detektory spektrální charakteristiky vyplývající z vlastností použitého materiálu na výrobu.
- Fotoemisivní zařízení se liší od fotovodivých a fotovoltaiických v tom, že elektron po absorpci fotonu fyzicky opouští materiál detektoru, který je obvykle umístěn ve vakuové trubici s vysokým napětím. Katoda absorbuje energii fotonu, která je dostatečně velká k uvolnění elektronu do prostoru vakuové trubice. Potenciál napětí způsobí pohyb elektronů směrem k anodě. Jakmile elektrony dorazí k anodě, jsou měřeny jako proud vypovídající velikosti optického toku dopadajícího na katodu.

Nevýhodou kvantových detektorů je nutnost jejich chlazení. Pro zaručení správné funkce je nutno zajistit relativně nízkou teplotu detektoru samotného, jelikož při vyšších teplotách dochází ke zkreslování vlastní vyzářenou energií.[14]

3.1.2 Teplotní detektory

Tento druh detektoru absorbuje energii širokého pásma vlnových délek. Absorbovaná energie způsobuje vzrůst teploty materiálu. Použité materiály mají minimálně jednu tepelně závislou elektrickou vlastnost. Tato vlastnost je poté změřena pro získání vstupní energie způsobující ohřev. Obecný popis a rozdělení teplotních detektorů je uveden v kapitole 2.4

Nejčastěji používaným druhem tepelných detektorů je maticové uspořádání mikrobolometrických snímačů.[14]

4 Detekce osob a automatizační systémy

Informace o výskytu a pohybu osob se stala kritickou informací pro velké množství aplikací. Téměř všechny průmyslové a občanské stavby jsou v dnešní době vybaveny zabezpečovacími systémy, které kromě jiného využívají senzory založené na principu detekce pohybu, přítomnosti osob či jiných objektů.

4.1 Druhy senzorů

Pro různé aplikace a různé prostředí jsou vhodné různé technologie senzorů. V současné době se pro detekci lidí využívají senzory založené na detekci pohybu. Jen některé senzory jsou schopny detekovat přítomnost bez nutnosti pohybu. Takto konstruované snímače nejsou tak časté a v porovnání s obvyklými senzory pohybu jsou v jiné cenové kategorii.

4.1.1 Mikrovlnný pohybový senzor

Mikrovlnný senzor pohybu poskytuje ideální řešení pro nepříznivé či nehostinné prostředí díky absenci pohyblivých částí a nízkoeenergetickému provozu. Senzor má schopnost měřit volumetriku, rychlost, vzdálenost, rozsah a směr pohybu a to s přesností menší desetin milimetru. Volumetrická detekční zóna je vytvořena v prostoru mezi vysílačem a přijímačem. Pohybuje-li se objekt v oblasti senzoru, podle Dopplerova jevu dochází k prolínání vysílaných a přijímaných frekvencí. Vyhodnocována je pak diference mezi těmito frekvencemi. Při vyhodnocování mohou nastat dva stavy:

1. Když se objekt pohybuje směrem k senzoru, vlnová délka odraženého signálu se snižuje, tudíž roste jeho frekvence.
2. Když se objekt pohybuje směrem od senzoru, vlnová délka odraženého signálu se zvyšuje, tudíž jeho frekvence klesá.

Mikrovlnné senzory využívají elektromagnetických polí a komponentů, které pracují při frekvencích 300 MHz až 1 THz. Široká škála frekvencí je distribuována v různých frekvenčních pásmech závislých na cílové aplikaci. Klasifikace frekvenčních pásem s různými frekvenčními rozsahy je prováděna na základě typu použité modulace při systémovém návrhu. [15]

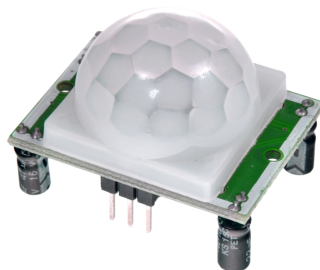
4.1.2 PIR senzory

Pasivní infračervené senzory jsou vyrobeny z krystalických materiálů, na kterých vzniká povrchový náboj při vystavení teplu ve formě tepelného záření. Po dopadu dostatečného množství záření dojde ke zvýšení povrchového náboje do takové míry, kdy je možná detekce citlivým FET tranzistorem zabudovaným do zařízení. Senzory jsou citlivé na široký rozsah záření, proto jsou použity příslušné filtry omezující detekci dopadajícího záření v rozsahu 8 až 14 μm . [17]



Obrázek 8: Mikrovlnný senzor pohybu [16]

Pro použití PIR senzorů v zabezpečovací technice můžeme najít několik důvodů. V první řadě je to absence jakéhokoliv signálu od detekovaného objektu, jako je tomu například u detektorů zvuku, nebo mikrovlnných a ultrazvukových detektorů. Další výhodou je možnost nasazení ve tmavých prostorách, kde není možné použití obrazových systémů. Detektorem je sledován rozdíl teplot v prostoru. Pohyb teplého objektu je pak detekován jako změna teploty v zorném poli senzoru. V neposlední řadě je výhodou nízká cena a jednoduchost použití. [18]



Obrázek 9: Pasivní infračervený senzor pohybu [19]

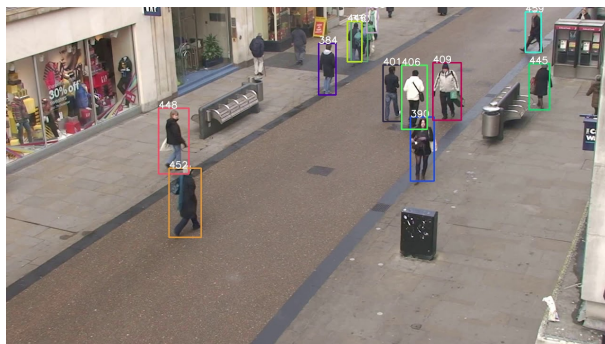
4.1.3 Ultrazvukové senzory

Aktivní ultrazvukové senzory generují zvukové vlny ve frekvenční oblasti 25 až 50 kHz. Tyto rozsahy jsou pro lidské ucho nedetekovatelné a nejsou schopny projít většinou pevných objektů. Vysílač periodicky vysílá zvukové vlny, a poté čte hodnoty z přijímače. Pokud nedochází k pohybu ve snímané oblasti, jsou signály a jejich časy odrazu mezi jednotlivými vysíláními stejné. Jestliže však dojde k pohybu objektu, dojde ke změně fáze a je vyhodnocen pohyb. Vzhledem k tomu, že tento systém detekce sám o sobě není příliš spolehlivý a docházelo by k častým falešným alarmům, zavádí se jistá analýza přijatých dat. Nejčastěji je používána analýza na základě Dopplerova efektu popsaném v 4.1.1 spolu se sledováním velikostí amplitud. [20]

4.1.4 Kamery

Rozpoznávání objektu v prostředí je již dlouhou dobu jednou z oblastí zaměření strojového vidění. Rozpoznání objektu zahrnuje detekci přítomnosti známého objektu vzhledem ke znalostem o tom, jak by měl tento objekt vypadat. Jako lidé považujeme tuto schopnost za samozřejmost, protože lidský mozek je mimořádně zdatný v tom, vnímat nové objekty a později je rozeznávat. Avšak u aplikací strojového vidění se tento problém stal jedním z nejtěžších a výpočetně nejnáročnějších v oboru. Vzhledem k současné technologii vyžaduje úspěšný algoritmus rozpoznávání objektů užší zaměření detekce. Častý přístup k detekci osob je na základě pohybových vzorců. Tento způsob se liší od ostatních přístupů, např. na základě tvaru, barvy, textury a povrchových vlastností.

V současné době můžeme nalézt bezpečnostní kamery prakticky všude, kde se pohybuje větší množství osob. Posuzování nebezpečí je ovšem prováděno pověřenými osobami místo automatizovaných systémů, a to i přesto, že tato práce není pro člověka vhodná, protože vyžaduje udržení pozornosti po dlouhé časové úseky. Tato skutečnost je motivací pro vývoj automatizovaných monitorovacích systémů, které budou schopny nahradit lidský element v procesu detekce a vyhodnocování nebezpečných situací. Schopnost detekovat je přitom jedním ze zásadních požadavků pro vývoj takového systému. [21]



Obrázek 10: Detekce osob kamerovým systémem [22]

4.2 Systémy chytrých budov KNX

Technologie KNX je rozšířený celosvětový otevřený standard pro řízení průmyslových, obchodních i bytových budov. Komponenty odpovídající tomuto standardu pokrývají celé spektrum aplikací potřebné pro provoz dnešních budov od osvětlení, ovládání žaluzií, vytápění, zabezpečení, až po řízení spotřeby energie. Výhodou KNX instalace je otevřenost celého síťového systému. Všechny komponenty v instalaci komunikují pomocí jednoho sběrnicevého kabelu, a proto sdílení informací mezi jednotlivými komponenty umožňuje provést zásadní změny funkčnosti bez nutnosti fyzické přestavby. [23]

4.3 Přenosová média

Fyzická vrstva sběrnice systému může být realizovatelná pomocí velké škály médií. Základním a nejvíce používaným médiem je kroucená dvojlinka (twisted pair). Tento systém je dle standardu nejspolehlivějším systémem a umožňuje nejlepší rozšiřitelnost. Mezi další možnosti propojení zařízení je využití klasického výkonového vedení 230V (powerline), přenos pomocí rádiových vln (RF) a využití IP protokolu síťového vedení ethernet. [24]

4.4 Komponenty

Sběrnice systém lze vnímat jako soubor sběrnice přístrojů, kde každý KNX přístroj se sestává z mikrokontroléru, přenosového a aplikačního modulu. Všechny přístroje můžeme rozdělit do dvou základních skupin na pasivní a aktivní přístroje. Pasivní přístroje nejsou přímými částmi sběrnice systému, ale zabezpečují chod celého systému. Patří mezi ně například napájecí zdroje. Skupinu aktivních přístrojů lze dále rozdělit na rozhraní, spojky, snímače a akční členy.

- Rozhraní - zařízení umožňující vnější komunikaci se sběrnice systémem. Používá se pro jeho nastavování a programování. Jedná se například o USB či Ethernet rozhraní.
- Spojky - jejich úkolem je optimalizovat efektivnost komunikace ve sběrnice systému.
- Snímače - jedny z nejdůležitějších komponentů v celém systému, zajišťují získání informací o prostředí či uživatelských požadavcích.
- Akční členy - slouží k propojení klasických zařízení například světelných zdrojů, či automatických žaluzií se sběrnice systémem pro jejich ovládání.

Každý aktivní přístroj na sběrnici je vybaven jedinečnou individuální adresou. Tato adresa je určena pro diagnostiku a adresování při uvádění do provozu, během běžného chodu ovšem nemá žádný vliv. [25]

4.5 Komunikace

Komunikace mezi jednotlivými komponenty instalace je realizována formou předávání zpráv (telegramů). Každý instalovaný snímač s předem definovanou funkcí se chová jako vysílač. Po uplynutí periodického času pro odesílání informace o svém stavu, překročení mezní hodnoty měřené veličiny či prostým stisknutím fyzického tlačítka, dojde k odeslání zprávy s potřebnými parametry na příslušné akční členy pro vyvolání odezvy. Komunikace mezi jednotlivými přístroji je řešena pomocí skupinových adres. Skupinové adresy virtuálně propojují jednotlivé skupiny senzorů a akčních členů. Skupinová adresa může například definovat, které vypínače v místnosti budou ovládat osvětlení. Akční členy se mohou vyskytovat ve více skupinových adresách, a tím je možno dosáhnout centrálního ovládání celé budovy z jedné místnosti bez narušení normální funkce. Sensory jsou naopak schopny zasílat telegramy pouze pro jednu skupinovou adresu, a tudíž ovládat pouze jednu skupinu objektů.

5 Návrh systému detekce osob

V rámci návrhu se zaměříme na výběr vhodného senzoru a řídicího systému. Dále popíšeme modul k připojení systému do sběrnice chytrých budov.

5.1 Výběr senzoru

V současné době je na trhu dostupná spousta druhů maticových senzorů s různými parametry. Prakticky je můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin. Jedná se o maticové teploměry a termokamery. Princip jejich funkce není až tak rozdílný, jedná se pouze o možnosti zpracovávání informací o teplotě, které rozhodují o jejich použitelnosti. Mezi další parametry výběru patří rozlišení a zorný úhel senzoru. Jednoduché senzory jsou často konstruovány s poměrem rozlišení 1:1 a počtem okolo jednotek až desítek pixelů každé strany. Tyto druhy senzorů často umožňují pouze přímé vyčítání z paměti, která obsahuje teplotní informace jednotlivých snímaných pixelů. Pro naši aplikaci ovšem takto nízká rozlišení nejsou použitelná. Při vyšší vzdálenosti senzoru od snímaných objektů může docházet ke splývání objektů, a tudíž i ke špatnému vyhodnocování.

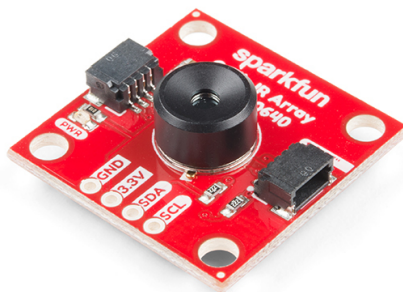
Panasonic AMG8854, Grid-Eye



Obrázek 11: Maticový senzor teploty Panasonic Grid-Eye [26]

- Rozlišení 8x8 pixelů
- Digitální výstup přes rozhraní I²C [27]

Melexis MLX90640



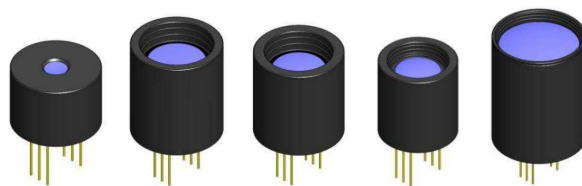
Obrázek 12: Maticový senzor teploty MLX90640 [28]

- Rozlišení 32x24 pixelů
- Digitální výstup přes rozhraní I²C [29]

Pro tuto aplikaci jsou zajímavější senzory s rozlišením desítek až stovek pixelů. Tyto senzory však přinášejí problémy zisku dat z kamery samotné. U jednoduchých kamer počet přenášených pixelů nezpůsobil žádné problémy. Jsou to právě vyšší počty a vyšší frekvence přenosu, které vyžadují použití výkonných vyhodnocovacích zařízení a rychlých sběrnic pro sběr dat.

Po zvážení všech možností byl pro realizaci praktické části této práce vybrán maticový senzor firmy Flir, konkrétněji Lepton 2.0. Rozlišení tohoto senzoru je v rámci dostupnosti dostačující a to i přesto, že obnovovací frekvence obrazu pokulháva oproti německému Heimann senzoru. Jedná se o variantu levnější a dostupnější. Flir lepton je zároveň známou vývojovou platformou v oblasti termálních kamer a poskytuje vývojové nástroje pro komunikaci.

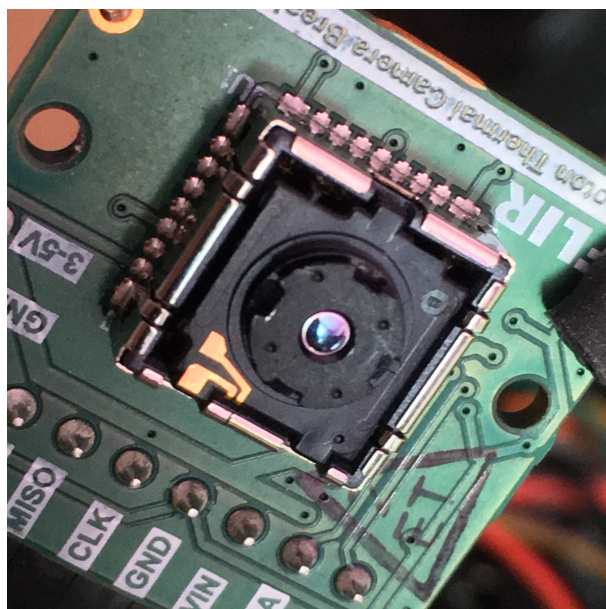
Heimann HTPA80x64d



Obrázek 13: Maticový snímač teploty Heimann [30]

- Rozlišení 80x64 pixelů
- Digitální výstup přes rozhraní SPI [30]

Flir Lepton 2.0



Obrázek 14: Maticový snímač teploty Flir Lepton 2.0

- Rozlišení 80x60 pixelů
- Obrazový výstup přes rozhraní SPI
- Ovládání kamery pomocí rozhraní I²C [31]

5.2 Výběr řídicího systému

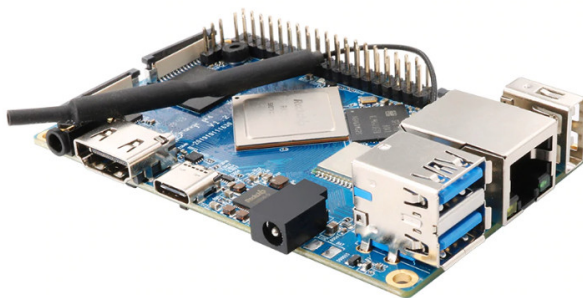
Při výběru systému pro získání obrazových dat, jejich zpracování a zpětné komunikace s kamerou jsme vybírali podle několika parametrů:

- otevřenost a univerzálnost systému,
- dostupná rozhraní,
- výkon,
- cena.

V první řadě bylo třeba rozhodnout, zda zvolíme nízkoúrovňovou platformu s mikrokontrolérem, nebo systém fungující pod operačním systémem. I když mikrokontroléry disponují výhodami jednoduchého přístupu ke komunikačním rozhraním, postrádají oproti složitějším systémům možnosti využití nástrojů ke zpracování obrazu.

V zájmu úspory času a náročnosti jsme se rozhodli zvolit platformu s operačním systémem Linux. Tyto systémy umožňují neomezený přístup k připojeným periferiím a zároveň disponují dostupnými nástroji pro zpracování obrazu. Ke kamerám Lepton je možno dokoupit adaptér, který umožňuje připojení kamery pomocí rozhraní USB. Tak je možno připojit kameru k jakémukoliv zařízení opatřeném rozhraním USB a pomocí dodávaného softwaru s ní komunikovat a získávat obrazová data. Tento systém ovšem neumožňuje přímý přístup ke komunikačním rozhraním jinak než pomocí komunikačního protokolu USB. Proto jsme se rozhodli jít cestou jednodeskových počítačů, které jsou opatřeny sběrniceovými rozhraními, potřebnými k přímému připojení ke kameře bez nutnosti využívání rozhraní USB. Tento systém se zprvu může zdát složitější, ale po implementaci dodávaných vývojových prostředků je komunikace s kamerou velice snadná. Přesný popis komunikace je popsán v kapitole 6.1.

Hledáme tedy jednodeskové počítače s operačním systémem Linux, potřebnými rozhraními, dostatečným výkonem a přijatelnou cenou. Po prozkoumání dostupných výrobců jsme omezili výběr na platformu Raspberry Pi, Orange Pi a BeagleBone.



Obrázek 15: Jednodeskový počítač Orange Pi 4 [32]



Obrázek 16: Jednodeskový počítač BeagleBone Black [33]



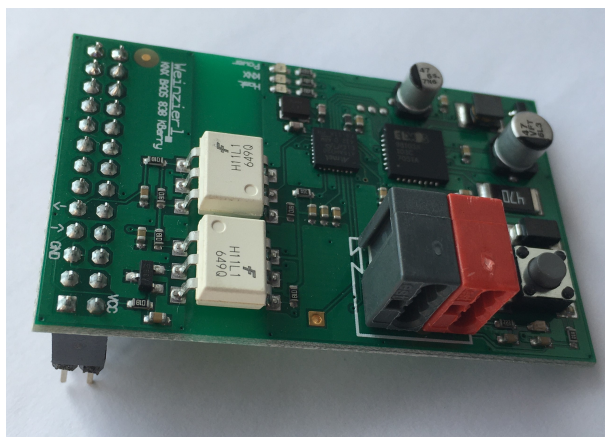
Obrázek 17: Jednodeskový počítač Raspberry Pi 4 [34]

Všechny tyto uvedené platformy jsou v mnoha směrech srovnatelné. Výhody jednotlivých desek oproti ostatním jsou ve většině případech vyváženy nedostatky v jiném směru. S čistým svědomím můžeme říci, že všechny tyto platformy by byly použitelné pro aplikaci popsanou v této práci. Finální výběr byl tedy ovlivněn převážně osobní preferencí a to ve prospěch platformy Raspberry Pi 4.

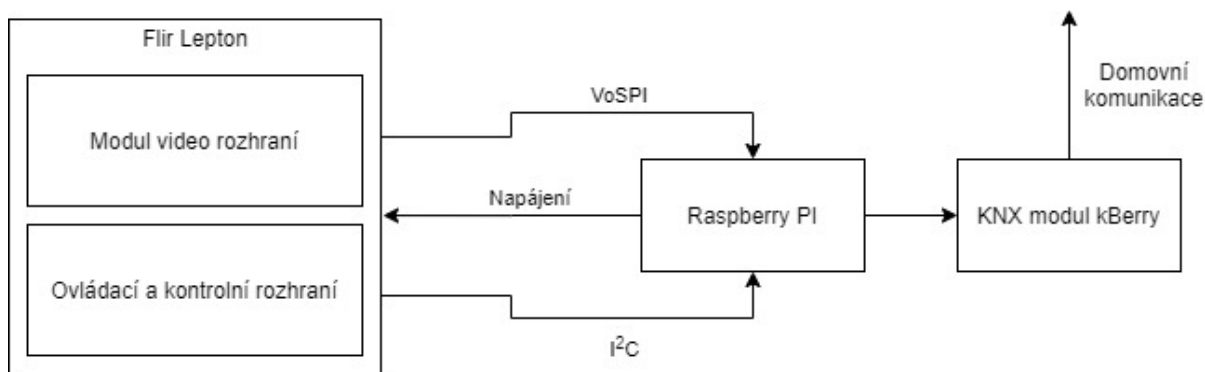
5.3 Nadřazený systém KNX

Po získání dat, jejich zpracování a vyhodnocení je potřeba údaje o přítomnosti předat do nadřazeného systému, který na základě těchto informací provede náležité kroky, například spustí alarm, nebo provede jinou akci. Jak je popsáno v kapitole 4, tato práce se částečně zabývá také možnostmi interakce se systémy chytrých budov KNX. Jak je zmíněno výše, KNX je otevřený komunikační standard, který umožňuje vývoj a integraci libovolných nástrojů.

Díky otevřenosti tohoto standardu jsou dostupné vývojové nástroje jako je KNX BAOS kBerry, který se v systému budovy chová jako připojený senzor či akční člen v závislosti na jeho nastavení. Detektor přítomnosti navržený v rámci této práce by se po připojení k systému KNX měl chovat jako komerčně dostupné senzory a po detekci přítomnosti osoby vyvolat příslušné akce.



Obrázek 18: KNX BAOS kBerry



Obrázek 20: Schématické propojení jednotlivých částí

6.1.1 I²C

I²C je sériový sběrníkový protokol pro dvou vodičové rozhraní používaný pro nízkorychlostní zařízení jako jsou mikrokontroléry, EEPROM paměti, A/D a D/A převodníky, vstupně/výstupní rozhraní a podobné periferie vestavěných systémů. Podle rolí jednotlivých zařízení rozlišujeme zařízení master chovající se jako podněcovatel komunikace a slave zařízení, které pouze reaguje na vyvolané požadavky. Každé slave zařízení je vybaveno jedinečnou 7 bitovou adresou vystavěnou firmou NXP. Komunikace mezi master a slave zařízením je podle specifikace rozdělena po 8 bitových packetech dat.

Komunikační rychlosti

Původní specifikace definovala frekvenci přenosu na 100 kHz a tato rychlost byla později zvýšena na 400 kHz pod označením "Fast mode". Existují i vysokorychlostní moduly, jejichž rychlosti dosahují 3,4 MHz nebo 5 MHz v "ultra-fast" režimu.

Komunikační protokol

Fyzická vrstva je realizována dvěma vodiči označenými SCL (serial clock) a SDA (serial data). V normálním stavu mají obě linky úroveň logické jedničky. Komunikace je zahájena master zařízením, které generuje startovací impuls přivedením SDA linky na úroveň logické nuly. Poté následuje sekvence bitů definující adresu kontaktovaného slave zařízení. Nultý bit této sekvence určuje, zda bude do zařízení zapisováno, nebo z něho čteno. Je-li tento bit nastaven na logickou nulu, následující byte bude přečten ze slave zařízení. Poté co dojde k přenosu všech bytů, master zařízení generuje ukončovací impuls. [37]

6.1.2 Zasílání příkazů

Veškerá komunikace může být obecně rozdělena do tří forem příkazů - čtení, zápis a provedení. Každý příkaz má definované speciální identifikační číslo vkládané do Command registru.

Typický přenos vyžaduje tuto sekvenci:

1. Vyčítání stavového registru, zda kamera není zaneprázdněna (BUSY bit).
2. Vyčítání SYS registru, zda je kamera připravena na další příkaz (SYS FFC Status).
3. Zápis dat do DATA registru nebo DATA bufferu v závislosti na velikosti zprávy.
4. Zápis délky zprávy do DATA Length registru.
5. Zápis ID vyžadovaného příkazu do Command registru.
6. Vyčítání stavového registru, zda je úkon vykonán (BUSY bit).
7. Vyčtení stavového registru pro zprávu o úspěšném ukončení.
8. Záznam jakýchkoliv odpovědí z Data registru nebo Data bufferu.

[38]

6.2 Přenos obrazu

Data pro rekonstrukci nasnímaného obrazu jsou přenášeny pomocí VoSPI protokolu, který umožňuje efektivní a ověřitelný přenos videa pomocí SPI rozhraní. Protokol je založený na packetech, které nevyžadují žádný synchronizační signál ani kontrolu toku. Zdroj dat totiž zahajuje veškeré přenosy a určuje přenosovou rychlost. Data z kamery je v tomto nastavení možno získávat s flexibilní rychlostí.

6.2.1 SPI

SPI, jinak také "Serial peripheral interface", je jedním z nejvíce využívaným rozhraním mezi mikrokontroléry a jeho periferiemi. Jedná se o synchronní plně duplexní rozhraní fungující na topologii master a slave. Data na sběrnici jsou synchronizována sestupnou hranou hodinového signálu. SPI rozhraní je fyzicky možno realizovat tří nebo čtyř vodičovým zapojením.

Fyzická vrstva

Fyzické linky mezi zařízeními jsou:

1. Clock (CLK/SCLK)
2. Chip select (CS/SS)
3. Master out, slave in (MOSI)
4. Master in, slave out (MISO)

Synchronizační hodinový signál na lince Clock je generován master zařízením. V porovnání s rozhraním I²C, SPI komunikace podporuje mnohem vyšší rychlosti. SPI sběrnice podporuje připojení pouze jednoho master zařízení a může mít jedno nebo více slave zařízení. Linka Chip select určuje slave zařízení, se kterým master komunikuje. Pro každé slave zařízení musí být přivedena samostatná linka Chip select.

Datovými linkami jsou poté MOSI a MISO, kde MOSI přenáší data od master zařízení do slave a MISO pak opačným směrem.

Komunikační protokol

Pro zahájení komunikace musí master zařízení vyslat hodinový signál a vybrat zařízení, se kterým bude komunikovat. Výběr je ve většině případech proveden přivedením logické nuly na příslušnou Chip select linku. Během komunikace dochází k současnému odesílání a přijímání dat na obou linkách. Hrana hodinového signálu synchronizuje posun registrů a vzorkování dat na lince. SPI umožňuje volbu hrany, při které bude docházet k posunu a vzorkování (CPHA), stejně jako umožňuje nastavení úrovně, ve které bude setrvávat hodinový signál při nevysílání (CPOL). Různými kombinacemi lze zvolit jeden ze čtyř módů komunikace. [39]

6.2.2 Použití VoSPI protokolu v Lepton kamerách

VoSPI je protokol navržený pro zapouzdření videa do formátu, který umožňuje přenos přes SPI rozhraní při minimálních softwarových či hardwarových požadavcích. VoSPI nevyžaduje, aby procesor jakýmkoliv způsobem upravoval data jednotlivých pixelů ani aby v datech vyhledával synchronizační bity, což značně sníží zátěž procesoru. Je-li procesor vybaven DMA jednotkou (jednotka přímého přístupu do paměti), je vyžadován minimální procesorový čas. VoSPI využívá modifikované rozhraní SPI pro přenos dat.

Fyzická vrstva

VoSPI využívá modifikované rozhraní SPI popsané v 6.2.1. Oproti SPI nevyužívá linku MOSI (Master out, Slave in) a implementace je obecně omezená na komunikaci mezi jedním master a jedním slave zařízením. Lepton kamera v tomto uspořádání funguje jako slave zařízení a je tedy nutné aby připojení zařízení fungovalo jako master a generovalo hodinový signál. SPI je nastaveno do módu 3, tudíž při nevysílání je na lince SCK logická jednička a data jsou synchronizována při vzestupné hraně hodinového signálu.

Definice VoSPI pojmů

1. VoSPI Packet - balík 164 bytů dat, při přenosu musí být přenesen vždy celý
2. VoSPI Frame - plynulá sekvence paketů, VoSPI master je schopen určit začátek Frame příjmem nultého řádku a výšku Frame podle nejvyššího čísla řádku před novým řádkem nula

3. VoSPI Stream - plynulá sekvence Frame

Jeden paket vyjadřuje data jednoho nasnímaného řádku kamery. Kamera má rozlišení 80x60 pixelů. 80 pixelů vyjadřuje jeden řádek dat, kde každý pixel je definován 2B. Zbylé 4B slouží k předání informace o zasílaném řádku a k detekci chyb při přenosu (CRC). Frame je tudíž jeden snímek 60 řádků po 80 pixelech.

VoSPI implementace definuje dva druhy paketů a to Video Packet a Discard Packet. Video Packet přenáší užitečné informace o obrazu, Discard packet je označen jako neúčinný a není potřebný k dekodování obrazu. [40]

6.3 Popis programu

Po fyzickém sestavení a propojení jednotlivých částí je nutno zajistit několik dílčích programových kroků pro zaručení správné funkce. V prvním kroku je potřeba úspěšně spustit kameru a nastavit základní parametry komunikace. Spuštění kamery je možno realizovat při počátečním spuštění celého systému. Nastavení parametrů komunikace je pak nutno provést před odesláním první zprávy.

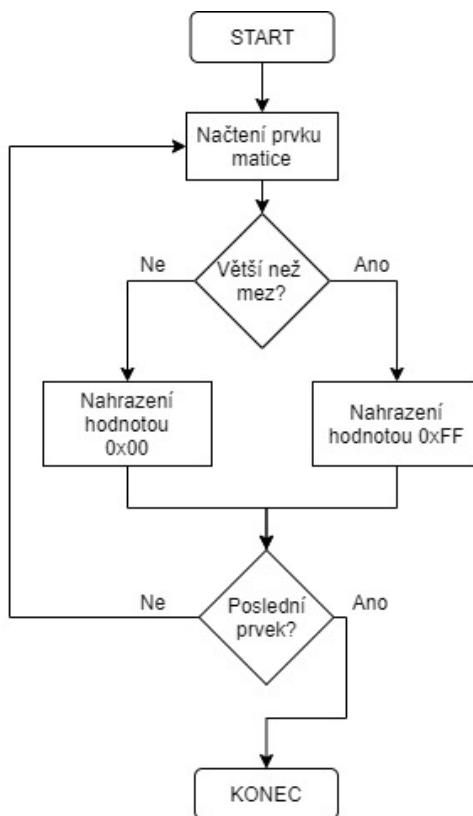
Po provedení těchto kroků může program přejít do hlavní smyčky. Po zadání požadavku o zaslání obrazových dat budou tato data postupně ukládána až do okamžiku obdržení celého rámce odpovídajícímu jednomu snímku kamery. Získaná obrazová data je potřeba upravit pro účely detekce objektů v obrazu. Jsou provedeny kroky normalizace dat, filtrace na základě definované úrovně a převod upraveného obrazu na bitmapu. Samotná detekce osob v obraze je prováděna formou prohledávání upraveného obrazu pro objekty, zabírající plochu větší než nastavená mez.

Normalizace dat je proces, při kterém dochází ke škálování surových dat jednotlivých pixelů. V naší aplikaci je velikost přichozích dat nastavena tak, že každý detekovaný pixel je vyjádřen 14 bitovou hodnotou. Pro jednodušší zpracování dojde k normalizaci na 8 bitů, resp. jeden byte.

Filtrace dat slouží k zanedbání pixelů obrazu, jejichž hodnota nepřesahuje danou mez. Tím je možno odstranit objekty chladnější než hledaná postava člověka. Jelikož Flir Lepton 2.0 nedisponuje radiometrickou clonou, data poskytovaná senzorem nelze zaručeně přepočítat na hodnoty teplot. Hodnoty pixelů pro filtraci byly určeny na základě pokusu, při kterém po přiložení kamery do blízkosti lidské pokožky byly odečteny hodnoty pixelů v rozsahu 160 až 180. Hodnota filtrace byla tedy zvolena na úroveň 130, což umožňuje detekci i oblečené postavy.

Nalezení kontur v obraze obsahuje několik kroků. Využíváme funkcí knihovny OpenCV, která se specializuje na práci s obrazem. Konkrétně používáme funkci "findContours". Vstupním parametrem této funkce je binární maska obrazu, kterou je nutno vytvořit ze surových dat.

Binární masku obrazu vytvoříme tak, že provedeme podobný proces jako při filtraci, avšak bude-li hodnota pixelu větší než nastavená mez, nahradíme ji hodnotou 0xFFh. Nebude-li hodnota dosahovat mezní hodnoty, nahradíme ji hodnotou 0x00h. Vývojový diagram algoritmu můžeme vidět na obrázku 21.



Obrázek 21: Algoritmus vytvoření binární masky

Funkce "findCountours" vyhledá všechny vnější kontury a uloží jejich vektory. Princip hledání je postaven na Suzukiho algoritmu sledování hran popsaném v tomto dokumentu [41]. Po nalezení kontur využijeme funkce "moments", která na základě Greenova teorému určí plochy jednotlivých objektů ohraničených konturami a souřadnice těžišť těchto ploch. Popis principu Greenova teorému můžeme naléznout zde [42]. Největší objekt určíme vytvořením nejmenších možných opsaných kružnic ze středů jednotlivých objektů. Je-li největší kružnice větší než nastavená mez, provedeme indikaci přítomnosti.



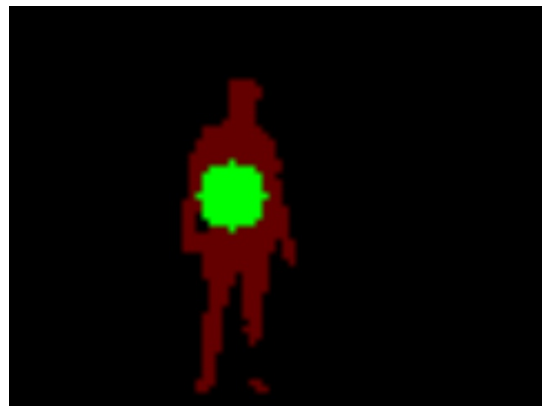
Obrázek 22: Reprezentace surových dat



Obrázek 23: Data po filtraci



Obrázek 24: Binární maska obrazu



Obrázek 25: Detekovaná postava



Obrázek 26: Funkce celkového programu

6.4 Implementace komunikace s KNX modulem

Pro pochopení funkce tohoto modulu je potřeba popsat princip na kterém funguje předávání informací do sběrnice systému. Vše se odvíjí od tzv. ObjectServeru.

ObjectServer je hardwarový komponent připojený na KNX sběrnici. Jeho úkolem je reprezentovat klienta jako skupinu předdefinovaných objektů. Každý z objektů má své definované vlastnosti, datapointy (jinak také skupinové objekty popsane v kapitole 4.5) a konfigurační parametry. Komunikace KNX modulu BAOS kBerry s ostatními zařízeními na KNX sběrnici je realizováno pomocí ObjectServer protokolu, který je obvykle zapouzdřený do dalšího protokolu podle použité komunikace s modulem samotným. V našem případě budeme využívat protokol sériové linky.

Komunikační protokol ObjectServeru se skládá z požadavků vyvolaných klientem a odpo-

vědí serveru. Pro aplikaci popsanou v rámci této práce je zajímavý požadavek "SetDatapointValue.Req". Princip nastavení jednotlivých datapointů je popsán níže v kapitole 6.5. Prozatím je důležité vědět, že pomocí požadavku "SetDatapointValue.Req" budeme nastavovat jeden bit v datapointu. [43]

Tvar zprávy pro změnu logické úrovně jednoho bitu v rámci jednoho datapointu je popsán v tabulce 1.

Tabulka 1: Tvar zprávy pro změnu bitu objektu na KNX sběrnici [43]

Část	Název	Velikost (B)	Hodnota	Popis
1	MainService	1	0xF0	kód hlavního procesu
2	SubService	2	0x06	kód subprocesu
3	Start Datapoint ID	2	*xx	ID prvního datapointu
4	NumberOfDatapoints	2	*xx	počet datapointů do kterých bude proveden zápis
5	First Datapoint ID	2	*xx	ID datapointu do kterého chceme zapisovat
6	First Datapoint Command	1	0x03	druh příkazu
7	First Datapoint Length	1	0x01	velikost zasílané hodnoty
8	First Datapoint Value	1-14	0x01/0x00	nastavovaná hodnota
*xx - hodnoty se mění na základě vybraného datapointu				

Parametry "MainService" a "SubService" jsou hodnoty definovány protokolem samotným. Komunikační protokol umožňuje zápis do více datapointů v rámci jedné zprávy. Pro zápis do více datapointů je nutno změnit hodnotu části čtyři a opakovat části pět až osm i pro ostatní datapointy. Po vytvoření požadované zprávy je potřeba zabalit tato data v rámci protokolu sériové linky.

Oblasti "L" obsahují číslo odpovídající délce zasílaných dat plus jeden kontrolní byte "CR". Kontrolní byte může nabývat hodnot 0x73h pro liché zprávy a 0x53h pro sudé zprávy. Číslo zprávy je počítáno od okamžiku resetu komunikace. V položce "data", je zasílána zpráva ObjectServer protokolu. Aritmetická suma všech dat a kontrolního bytu je vložena do části "C".

Tabulka 2: Tvar zprávy pro sériovou linku [43]

0x68	L	L	0x68	CR	data	C	0x16
------	----------	----------	------	-----------	------	----------	------

6.5 Nastavení modulu KNX BAOS kBerry v prostředí ETS5

ETS je profesionální automatizační software pro chytré budovy. Modul kBerry je dostupný v integrovaných katalozích, tudíž je možné přímé vložení do topologie budovy. V parametrech přidaného zařízení můžeme vidět jednotlivé dostupné datapointy. Pro naši aplikaci stačí povolit datapoint jedna a přiřadit mu binární funkci.

Ostatní datapointy mohou sloužit k obousměrnému předávání dalších informací. Může to být například velikost detekovaného objektu, čas kdy byl objekt detekován a v jaké části obrazu k detekci došlo. Díky použití jednodeskového počítače s možností připojení dalších senzorů můžeme jedno zařízení použít k odesílání většího množství informací o prostředí. Můžeme například připojit celou řadu digitálních teploměrů, detektorů oxidu uhličitého, požárních detektorů a mnoha dalších.

Datapoint type 1	DPT 1 - Binary-1 Bit
Datapoint description 1	Přítomnost Event
Datapoint type 2	DPT 6 - Signed Value-1 Byte
Datapoint description 2	Velikost detekovaného objektu
Datapoint type 3	DPT 1 - Binary-1 Bit
Datapoint description 3	Detekce sektor A
Datapoint type 4	DPT 1 - Binary-1 Bit
Datapoint description 4	Detekce sektor B
Datapoint type 5	DPT 1 - Binary-1 Bit
Datapoint description 5	Detekce sektor C
Datapoint type 6	DPT 1 - Binary-1 Bit
Datapoint description 6	Detkce sektor D
Datapoint type 7	DPT 10 - Time-3 Bytes
Datapoint description 7	Čas poslední detekce
Datapoint type 8	DPT 9 - Float Value-2 Bytes
Datapoint description 8	Teplota v místnosti

Obrázek 27: Parametry modulu kBerry

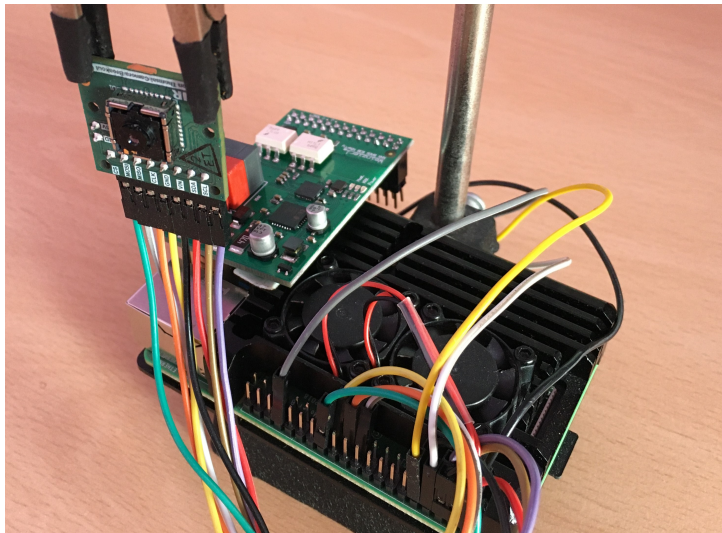
Pářej topologie	Číslo	Název	Funkce objektu	Popis	Skupinová ad.	Délka	C	R	W	T	U	Datový typ	Priori
► Dynamické záložky	1	Přítomnost Event	DPT 1	Switching EB312 lights	0/1/0	1 bit	C	-	W	T	-	1-bit, switch	Nizká
► 1 Hlavní linie - Budova nová FEI	2	Velikost detekovaného objektu	DPT 6			1 byte	C	-	W	T	-	8-bit signe...	Nizká
► 1.0.1 Stímací člen Control unit 0-10 V...	3	Detekce sektor A	DPT 1			1 bit	C	-	W	T	-	1-bit, switch	Nizká
► 1.1 3. patro	4	Detekce sektor B	DPT 1			1 bit	C	-	W	T	-	1-bit, switch	Nizká
► 1.1.0 Sběrníková spojka Coupler REG...	5	Detekce sektor C	DPT 1			1 bit	C	-	W	T	-	1-bit, switch	Nizká
► 1.1.1 Push-button 2-gang plus	6	Detkce sektor D	DPT 1			1 bit	C	-	W	T	-	1-bit, switch	Nizká
► 1.1.2 Central STOP Push-button 1-g...	7	Čas poslední detekce	DPT 10			3 bytes	C	-	W	T	-	time, time...	Nizká
► 1.1.3 KNX BAOS 830	8	Teplota v místnosti	DPT 9			2 bytes	C	-	W	T	-	2-byte floa...	Nizká
	11	Aktivace detekce	DPT 1			1 bit	C	-	W	T	-	1-bit, switch	Nizká

Obrázek 28: Parametry modulu kBerry

Po definici jednotlivých datapointů jsou vytvořeny skupinové objekty, které je možno přiřadit k libovolné skupinové adrese. Jako příklad je v této realizaci přítomnostní senzor připojen k ovládání světel v místnosti.

7 Experimentální ověření

Experimentální měření byly provedeny na improvizované sestavě umístěné v rohu místnosti přibližně ve výšce dvou metrů nad podlahou.



Obrázek 29: Experimentální sestava

V prvním případě máme nejčastější situaci stojícího člověka v obraze. Zelený křížek v masce indikuje, že byl člověk zaznamenán a jsme schopni jej sledovat. Obdélníkové objekty u postavy jsou obyčejné LCD monitory, které se při normálním provozu zahřejí na teplotu podobnou povrchu lidského těla. Můžeme vidět, že velká většina prostředí se podařila filtrací obrazů odstranit.

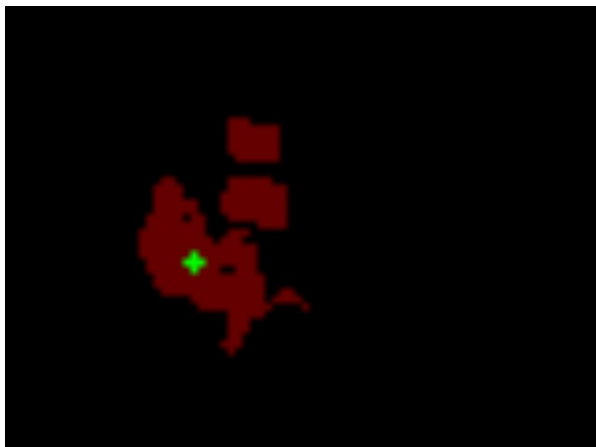


Obrázek 30: Příklad stojící osoby - maska



Obrázek 31: Příklad stojící osoby - originál

Druhý případ reprezentuje osobu sedící u pracovního stolu. Jak můžeme vidět i při menší ploše, kterou postava zaujímá, je při nastavení správné citlivosti detekce možno oddělit osobu od jiných objektů

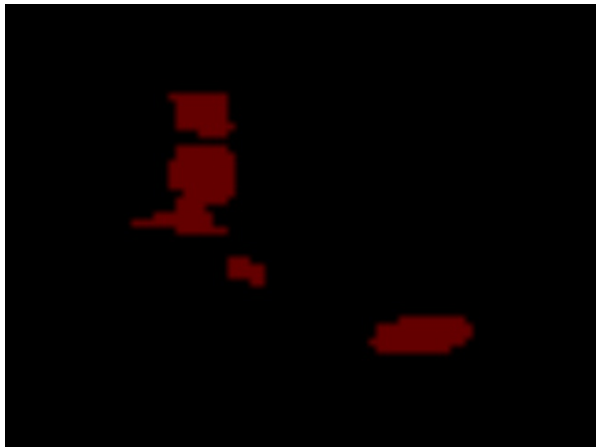


Obrázek 32: Případ sedící osoby - maska



Obrázek 33: Případ sedící osoby - originál

V následujícím případě se v obraze neobjevuje žádná postava. Tepelnou stopu zanechávají pouze monitory a domácí mazlíček ležící v pravé spodní části obrazu. V tomto případě nedochází k detekci přítomnosti. Kdyby ovšem sekundární zdroje tepla zaujímaly větší plochu, nebyli bychom schopni rozhodnout, zda se jedná o postavu či o jiný objekt.

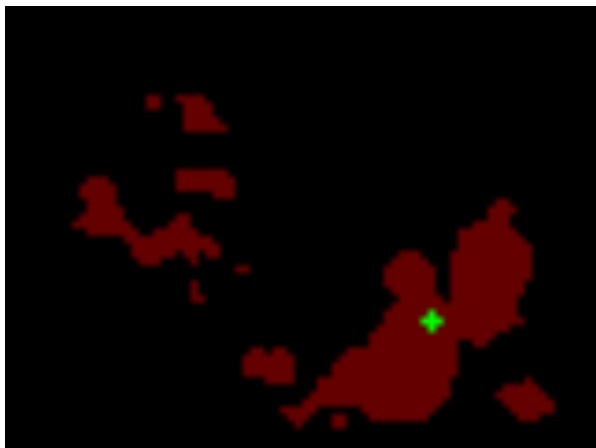


Obrázek 34: Případ bez přítomnosti osoby - maska

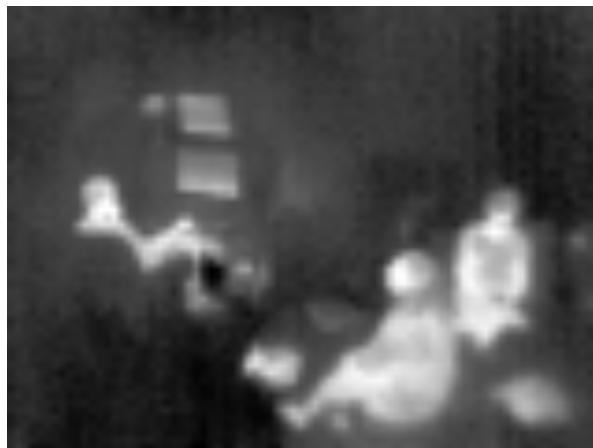


Obrázek 35: Případ bez přítomnosti osoby - originál

Jako poslední zde máme případ, kde se v obraze objevuje větší počet osob. Můžeme vidět, že systém zaměřil největší tepelnou stopu. Může se zdát, že systém selhal a nedetekoval více osob. Můžeme vidět, že k detekci přítomnosti bude docházet až do doby, kdy z obrazu odejde poslední postava. Detekce bude přeskakovat postupně na zbývající osoby.



Obrázek 36: Případ přítomnosti více osob - maska



Obrázek 37: Případ přítomnosti více osob - originál

Při experimentálním ověřování jsme zjistili, že systém není bezchybný. Dojde-li k zahřátí objektu lidským tělem (například židle), může systém špatně vyhodnotit přítomnost, když osoba odejde z místnosti.

8 Závěr

Cílem této práce bylo nastudovat problematiku měření teploty maticovými senzory a problematiku detekce osob v budovách. Tyto části jsem nastudoval a její klíčové body popsal v kapitolách dva až čtyři. Popsal jsem přírodní zákonitosti spojené s elektromagnetickým zářením s důrazem na infračervenou část spektra. Dále jsem popsal základní druhy a principy bezdotykových senzorů teploty a jejich maticové konstrukce. V části detekce osob jsem popsal komerčně používané pohybové senzory a sběrníkové systémy chytrých staveb založených na standardu KNX.

V praktické části této práce jsem provedl úspěšný návrh detektoru přítomnosti s maticovým senzorem. Návrh obsahuje výběr vhodného senzoru, řídicího systému a komunikačního modulu pro integraci na KNX sběrnici. Dále popisuje komunikační protokoly jednotlivých rozhraní s příklady integrace. Výsledkem návrhu byl výběr termokamery Flir Lepton 2.0, jednodeskového počítače Raspberry Pi 4 a komunikačního modulu KNX BAOS kBerry. V rámci realizace jsem navržené řešení sestavil a vytvořil software pro ovládání kamery, získ obrazových dat a jejich zpracování.

Mnou navržený a realizovaný systém je schopen detekovat přítomnost osob v jednoduchém prostředí bez nutnosti jejich pohybu. Vzhledem k použité metodě zpracování získaných dat popsané v kapitole 6.3, by tento systém nemusel fungovat v prostředích s větším počtem sekundárních tepelných zdrojů. Současný systém by se dal vylepšit použitím kamery s větším rozlišením obrazu a spolu s radiometrickou clonou pro měření teplot. Eliminace dalších tepelných zdrojů by byla možná znečitlivěním částí obrazu, případně použitím pomocných kontaktních teploměrů umístěných na sekundárních zdrojích tepla. Pomocí informace o jejich teplotě bychom byli schopni eliminovat tyto objekty na základě jejich teploty v obraze. Díky rezervě výpočetního výkonu počítače Raspberry Pi je možno opatřit systém dalšími senzory pro zvýšení spolehlivosti.

Během experimentálního ověření jsem narazil na několik nedostatků znehodnocující funkčnost systému. Jelikož optika Flir Lepton 2.0 neobsahuje pohyblivou clonu, vyžaduje kalibrace systému přímý přístup do bezprostřední blízkosti kamery. Kalibraci je nutno provádět plochým předmětem s konstantní teplotou po celém povrchu (kus kartonu, kniha, několik listů papíru). Po přiložení předmětu je potřeba zakrýt celý zorný úhel kamery a spustit FFC kalibraci. Kalibraci je potřeba provádět při každém spuštění, popřípadě po delší době provozu. Tento problém lze vyřešit použitím vyšší řady kamery Flir Lepton, které jsou vybaveny touto clonou a kalibrace je prováděna automaticky.

Literatura

1. MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Dotisk 1. vydání. Praha: Prometheus, 2003. ISBN 978-80-7196-264-9.
2. *Spectrum thermal radiation*. Dostupné také z: <https://www.extremetech.com/wp-content/uploads/2014/10/RF-spectrum-thermal-radiation.jpg>.
3. Blackbody. In: *The Editors of Encyclopaedia Britannica*. Encyclopædia Britannica, inc., 2016. Dostupné také z: <https://www.britannica.com/science/blackbody>.
4. *Termokamera: tepelné záření*. Dostupné také z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/tepelne-zareni>.
5. *Spektrální hustota vyzařování*. Dostupné také z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/kvanta/zareni-cerneho-telesa>.
6. *Pyrometers and infrared thermometers*. Dostupné také z: <https://www.explainthatstuff.com/how-pyrometers-work.html>.
7. *Thermophile IR Sensor*. Dostupné také z: https://cz.farnell.com/productimages/standard/en_US/03AC1408-40.jpg.
8. Thermopile sensors. *Automatizace.hw.cz*. 2005. Dostupné také z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005101401>.
9. *Bolometr*. Dostupné také z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005111601>.
10. *Bezdotykové měření teploty: Principy*. Dostupné také z: <https://automatizace.hw.cz/rehled-principu-el-mereni-teploty-2-dil-bezdotykové>.
11. *Microbolometer construction*. Dostupné také z: <https://www.optotherm.com/microbolometers.htm>.
12. *Microbolometer FPA*. Dostupné také z: <https://accelconf.web.cern.ch/f07/PAPERS/MOPPH030.PDF>.
13. *Termogram*. Dostupné také z: <https://pixabay.com/cs/photos/teplo-obr%C3%A1zek-infra%C4%8Derven%C3%A9-87276/>.
14. DRIGGERS, Ronald G.; FRIEDMAN, Melvin H.; NICHOLS, Jonathan. *Introduction to infrared and electro-optical systems*. Second edition. Boston: Artech House, 2012. ISBN 978-1-60807-100-5.
15. SINGH, P.; CHAULYA, S. K.; SINGH, V. K.; GHOSH, T. N. Motion detection and tracking using microwave sensor for eliminating illegal mine activities. In: *2018 3rd International Conference on Microwave and Photonics (ICMAP)*. 2018-02, s. 1–5. ISSN null. Dostupné z DOI: 10.1109/ICMAP.2018.8354484.
16. *Mikrovlnný senzor pohybu*. Dostupné také z: <https://dizajn-labanc.cz/senzor-lx701>.

17. MOGHAVVEMI, M.; LU CHIN SENG. Pyroelectric infrared sensor for intruder detection. In: *2004 IEEE Region 10 Conference TENCON 2004*. 2004-11, sv. D, 656–659 Vol. 4. ISSN null. Dostupné z DOI: 10.1109/TENCON.2004.1415018.
18. SONG, B.; CHOI, H.; LEE, H. S. Surveillance Tracking System Using Passive Infrared Motion Sensors in Wireless Sensor Network. In: *2008 International Conference on Information Networking*. 2008-01, s. 1–5. ISSN 2332-5658. Dostupné z DOI: 10.1109/ICIN.2008.4472790.
19. *PIR senzor*. Dostupné také z: <https://pajtech.cz/modul-pir-senzor-detektor-pohybu-hc-sr501-arduino-p-8683.html>.
20. Ultrasonic sensor. *ScienceDirect*. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/ultrasonic-sensor>.
21. SANOJ, C. S.; VIJAYARAJ, N.; RAJALAKSHMI, D. Vision approach of human detection and tracking using focus tracing analysis. In: *2013 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*. 2013, s. 64–68.
22. *Human camera detection*. Dostupné také z: <https://i.ytimg.com/vi/bkn6M4LAoHk/maxresdefault.jpg>.
23. *ABB: IBUS-KNX*. Dostupné také z: <https://new.abb.com/low-voltage/cs/nizke-napeti/produkty/automatizace-bytu-a-budov/produktove-rady/abb-i-bus-knx/system/vlastnosti>.
24. KNX Basic course, s. 6–20. Dostupné také z: http://knx.com.ua/attachments/article/132/KNX-basic_course_full.pdf.
25. KNX System principles, s. 8–9. Dostupné také z: http://knx.com.ua/attachments/article/132/KNX-basic_course_full.pdf.
26. *Panasonic Grid-Eye*. Dostupné také z: <https://na.industrial.panasonic.com/products/sensors/sensors-automotive-industrial-applications/lineup/grid-eye-infrared-array-sensor>.
27. Panasonic Grid-Eye Datasheet. Dostupné také z: <http://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf/ADI8000/ADI8000C66.pdf>.
28. *Melexis MLX90640*. Dostupné také z: <https://www.sparkfun.com/products/14843>.
29. Melexis MLX90640 Datasheet. Dostupné také z: <https://cdn.sparkfun.com/assets/3/1/c/6/f/MLX90640-Datasheet.pdf>.
30. Heimann HTPA80x64d Datasheet. Dostupné také z: https://www.heimannsensor.com/Datasheets/Overview-HTPA80x64d_Rev15.pdf.
31. Flir Lepton Engineering Datasheet. Dostupné také z: <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-lepton-engineering-datasheet.pdf>.

32. *Orange Pi 4*. Dostupné také z: <http://linuxgizmos.com/orange-pi-4-launches-at-60-with-4gb-ram/>.
33. *BeagleBone black*. Dostupné také z: <https://cz.farnell.com/element14/bbone-black-wireless/beaglebone-black-wireless/dp/2671597>.
34. *Raspberry Pi 4*. Dostupné také z: <https://www.amazon.com/Raspberry-Model-2019-Quad-Bluetooth/dp/B07TD42S27>.
35. *Raspberry Pi 4 GPIO pinout*. Dostupné také z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/README.md>.
36. Flir lepton software interface description. Dostupné také z: <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-lepton-software-interface-description-document.pdf>.
37. *I2C Info*. Dostupné také z: <https://i2c.info/>.
38. Flir lepton engineering datasheet. Dostupné také z: <https://lepton.flir.com/wp-content/uploads/2019/02/flir-lepton-engineering-datasheet-203.pdf>.
39. Introduction to SPI Interface. *Analog Dialogue*. Dostupné také z: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/introduction-to-spi-interface.html%5C#>.
40. Lepton VoSPI Implementation Specification. Dostupné také z: https://ctl-commerce.com/client_info/CTLCOMMERCE/infoimage/FLIR/80x60%5C%20Lepton%5C%20VoSPI%5C%20Developer%5C%20Guide.pdf.
41. SUZUKI, Satoshi; ABE, Keiichi. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 1985, roč. 30, s. 32–46.
42. *Paul's Online Notes: Green's Theorem*. Dostupné také z: <http://tutorial.math.lamar.edu/Classes/CalcIII/GreensTheorem.aspx>.
43. KNX BAOS Binary Protocol: BAOS Binary Services. Dostupné také z: https://www.weinzierl.de/images/download/development/830/KnxBAOS_Protocol_v2.pdf.

A Zdrojové kódy

Příloha "SVO0225.rar" v IS EDISON.

Hlavní soubory

- "FlirLepton/videostream.py"- Zdrojový kód pro získání a zpracování obrazu.
- "FlirLepton/CameraControl/main.cpp"- Zdrojový kód pro kalibraci a nastavení kamery.

B Spuštění programů

- Před spuštěním je třeba nainstalovat jazyk python3: `<sudo apt-get install python3>`
- Zdrojový kód "videostream.py" je spustitelný pomocí příkazu: `<sudo python videostream.py>`. Déle je jej možno spustit v IDE prostřední Thonny Python IDE
- Zdrojový kód "main.cpp" je možno spustit pouze pomocí IDE prostředí Code::Blocks.
- Spustíte aplikaci Code::Blocks IDE a zvolíte možnost File-Open, zvolíte položku CameraControl/Bakalarka_block.cbp. Poté můžete program zkompileovat a spustit.

Před spuštěním "videostream.py" je potřeba provést kalibraci kamery. Umístěte před kameru několik listů papíru a spusťte "main.cpp". Poté je možno spustit program pro získání a zpracování obrazu.